



# 第 9 章 控制单元的功能

计算机组成原理



# 第 9 章 控制单元的功能

## 9.1 操作命令的分析

## 9.2 控制单元的功能

## 9.1 操作命令的分析

控制单元具有发出各种微操作命令序列的功能。

完成一条指令分 4 个工作周期

取指周期

间址周期

执行周期

中断周期

## 一、取指周期

$PC \rightarrow MAR \rightarrow \text{地址线}$

$1 \rightarrow R$  (启动主存读操作)

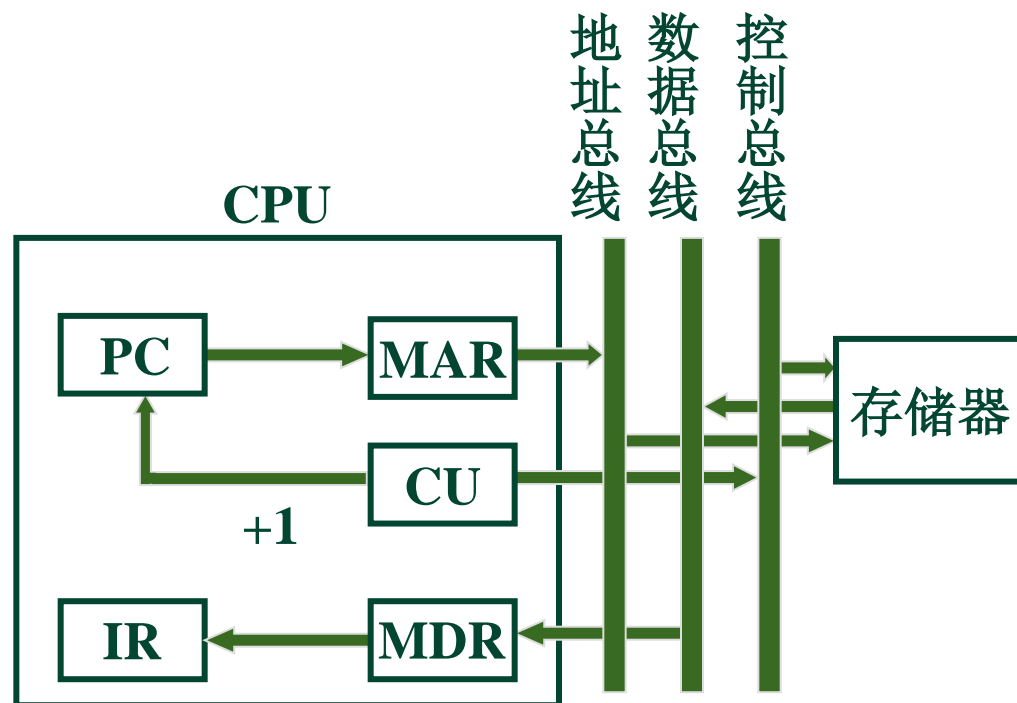
$M(MAR) \rightarrow MDR$

(将MAR所指的主存单元的内容读至MDR)

$MDR \rightarrow IR$

$OP(IR) \rightarrow CU$

$(PC) + 1 \rightarrow PC$



## 二、间址周期

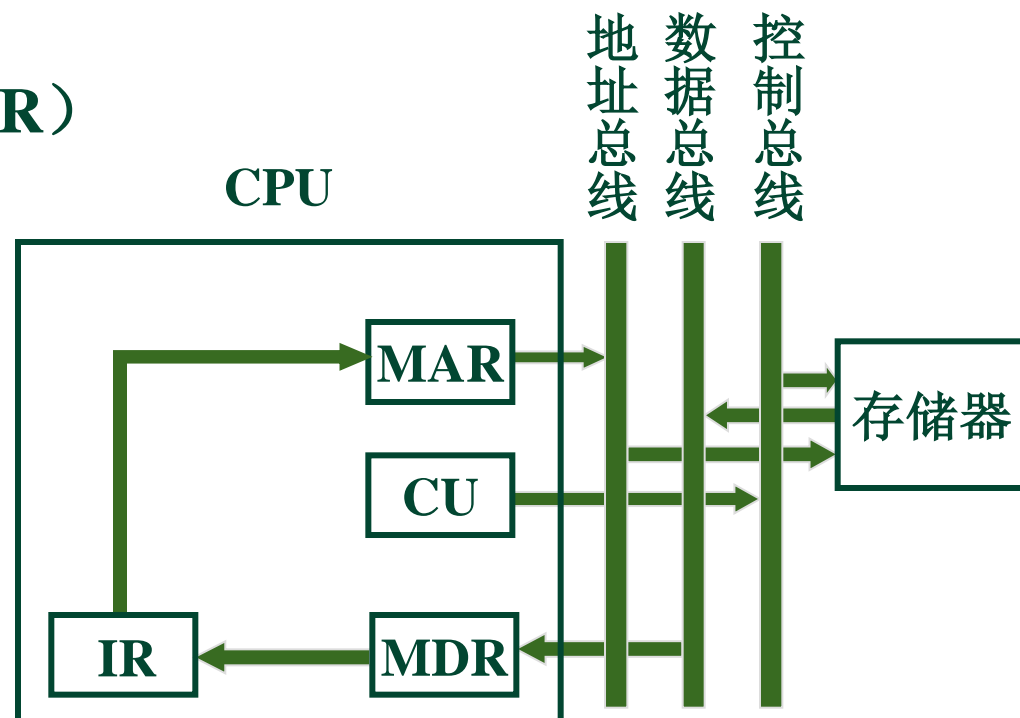
$Ad(IR) \rightarrow MAR$

(指令形式地址  $\rightarrow$  MAR)

$1 \rightarrow R$

$M(MAR) \rightarrow MDR$

$MDR \rightarrow Ad(IR)$



## 1. 非访存指令

(1) **CLA** 清A  $0 \rightarrow \text{ACC}$

(2) **COM** 取反  $\overline{\text{ACC}} \rightarrow \text{ACC}$

(3) **SHR** 算术右移  $\text{L}(\text{ACC}) \rightarrow \text{R}(\text{ACC}), (\text{ACC}_0 \rightarrow \text{ACC}_0)$

(4) **CSL** 循环左移  $\text{R}(\text{ACC}) \rightarrow \text{L}(\text{ACC}), (\text{ACC}_0 \rightarrow \text{ACC}_n)$

(5) **STP** 停机指令  $0 \rightarrow \text{G}$  (运行标志触发器)

## 2. 访存指令

### (1) 加法指令

**ADD X**

$\text{Ad(IR)} \rightarrow \text{MAR}$

$1 \rightarrow \text{R}$

$\text{M(MAR)} \rightarrow \text{MDR}$

$(\text{ACC}) + (\text{MDR}) \rightarrow \text{ACC}$

### (2) 存数指令

**STA X**

$\text{Ad(IR)} \rightarrow \text{MAR}$

$1 \rightarrow \text{W}$

$\text{ACC} \rightarrow \text{MDR}$

$\text{MDR} \rightarrow \text{M(MAR)}$

## (3) 取数指令

**LDA X** $\text{Ad}(\text{IR}) \rightarrow \text{MAR}$  $1 \rightarrow \text{R}$  $\text{M}(\text{MAR}) \rightarrow \text{MDR}$  $\text{MDR} \rightarrow \text{ACC}$ 

## 3. 转移指令

## (1) 无条件转

**JMP X** $\text{Ad}(\text{IR}) \rightarrow \text{PC}$ 

## (2) 条件转移

**BAN X** (负则转) $\text{A}_0 \cdot \text{Ad}(\text{IR}) + \bar{\text{A}}_0(\text{PC}) \rightarrow \text{PC}$ (结果为负即 $\text{A}_0=1$ )



## 4. 三类指令的指令周期



## 四、中断周期

9.1

程序断点存入 “0” 地址

程序断点 进栈

$0 \rightarrow \text{MAR}$

$(\text{SP}) - 1 \rightarrow \text{MAR}$

$1 \rightarrow \text{W}$

$1 \rightarrow \text{W}$

$\text{PC} \rightarrow \text{MDR}$

$\text{PC} \rightarrow \text{MDR}$

$\text{MDR} \rightarrow \text{M}(\text{MAR})$

$\text{MDR} \rightarrow \text{M}(\text{MAR})$

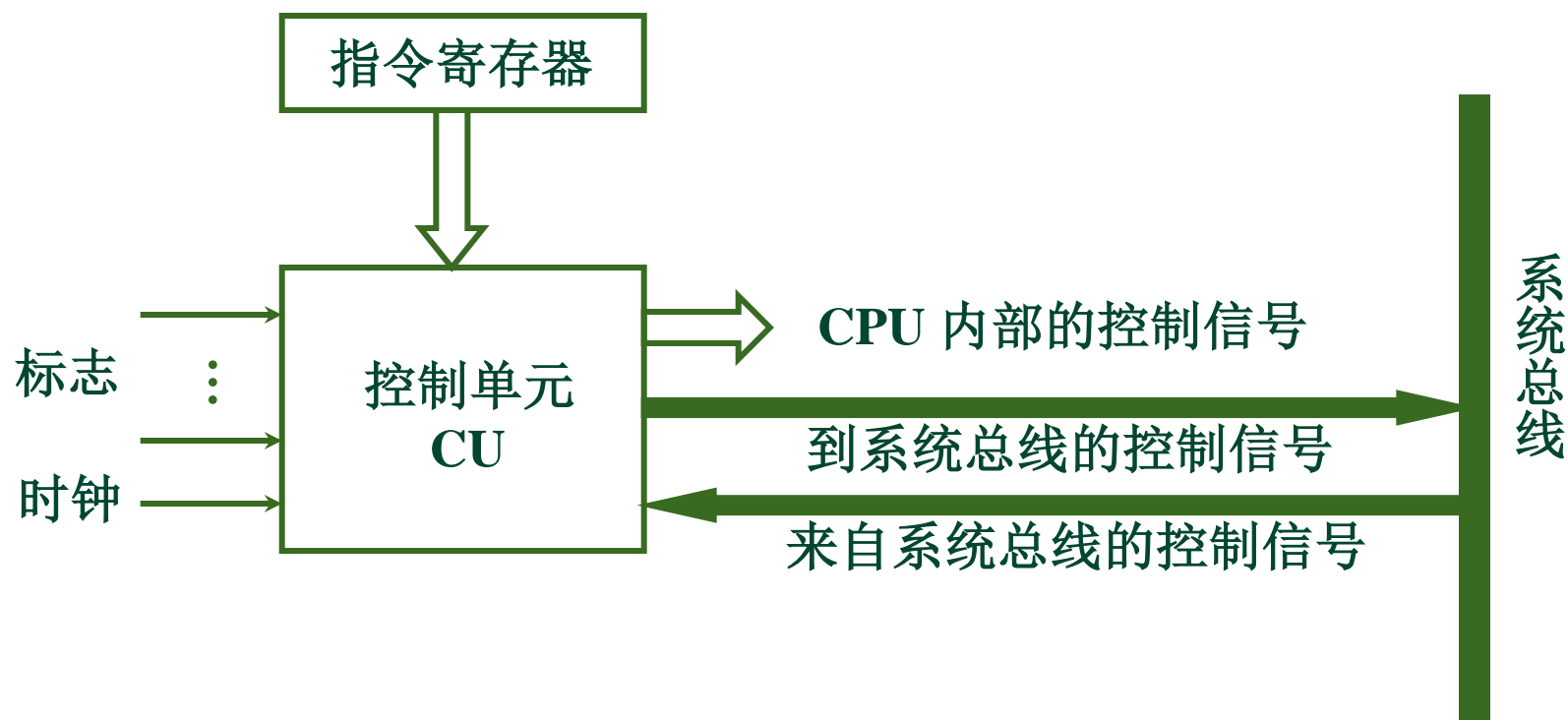
中断识别程序入口地址  $\text{M} \rightarrow \text{PC}$

$0 \rightarrow \text{EINT}$  (置 “0”)

$0 \rightarrow \text{EINT}$  (置 “0”)

## 9.2 控制单元的功能

### 一、控制单元的外特性



# 1. 输入信号

9.2

## (1) 时钟

CU 受时钟控制

一个时钟脉冲

发一个操作命令或一组需同时执行的操作命令

## (2) 指令寄存器 $OP( IR ) \rightarrow CU$

控制信号 与操作码有关

## (3) 标志

CU 受标志控制

## (4) 外来信号

如 **INTR** 中断请求

**HRQ** 总线请求

## 2. 输出信号

### (1) CPU 内的各种控制信号

$R_i \rightarrow R_j$

$(PC) + 1 \rightarrow PC$

ALU    +、-、与、或    .....

### (2) 送至控制总线的信号

$\overline{MREQ}$

访存控制信号

$\overline{IO/M}$

访 IO/ 存储器的控制信号

$\overline{RD}$

读命令

$\overline{WR}$

写命令

INTA

中断响应信号

HLDA

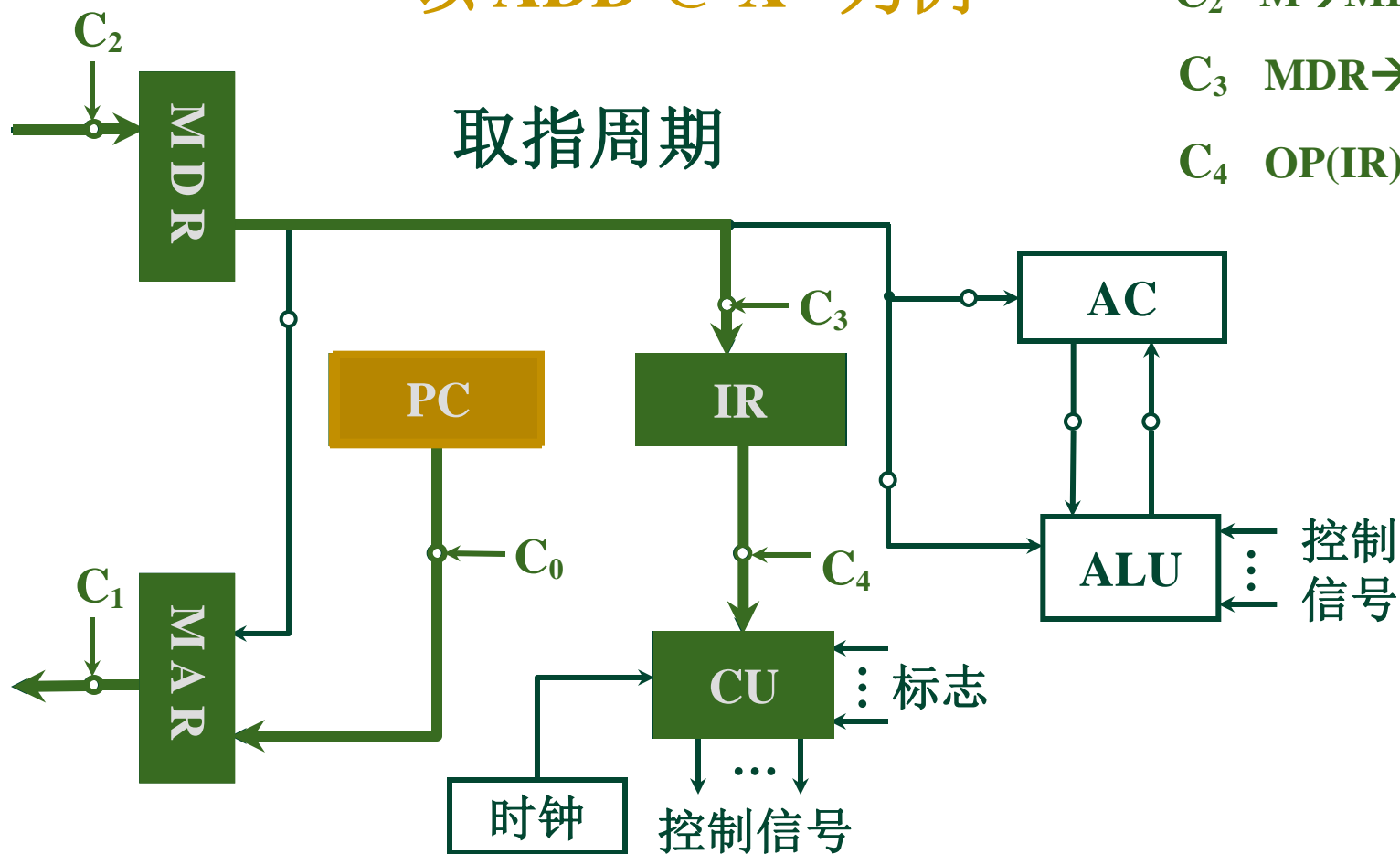
总线响应信号

## 二、控制信号举例

9.2

### 1. 不采用 CPU 内部总线的方式

以 **ADD @ X** 为例



$C_0$  PC  $\rightarrow$  MAR

$C_1$  MAR  $\rightarrow$  M

$C_2$  M  $\rightarrow$  MDR

$C_3$  MDR  $\rightarrow$  IR

$C_4$  OP(IR)  $\rightarrow$  CU

## 二、控制信号举例

### 1. 不采用 CPU 内部总线的方式

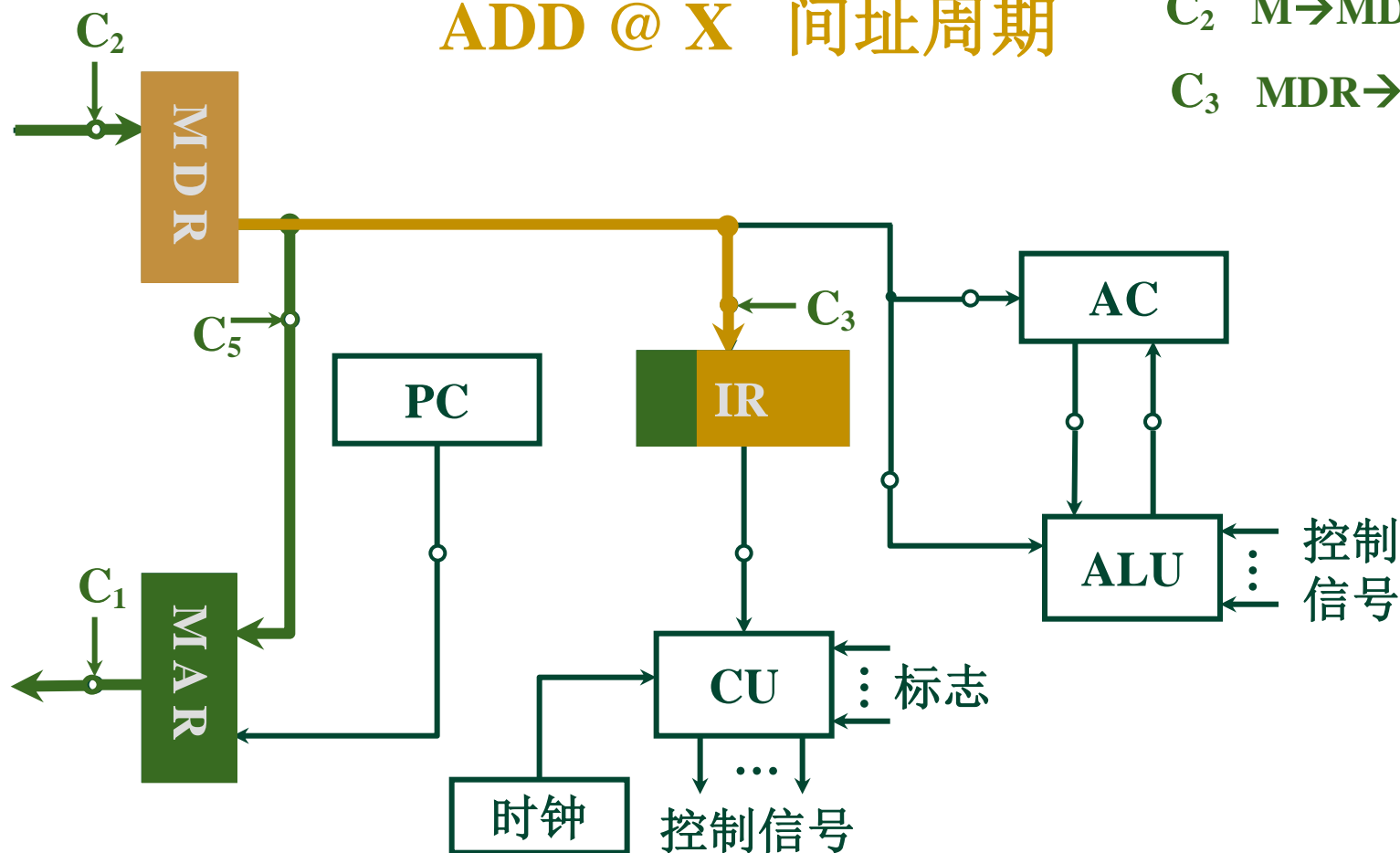
ADD @ X 间址周期

$C_5$  MDR  $\rightarrow$  MAR

$C_1$  MAR  $\rightarrow$  M

$C_2$  M  $\rightarrow$  MDR

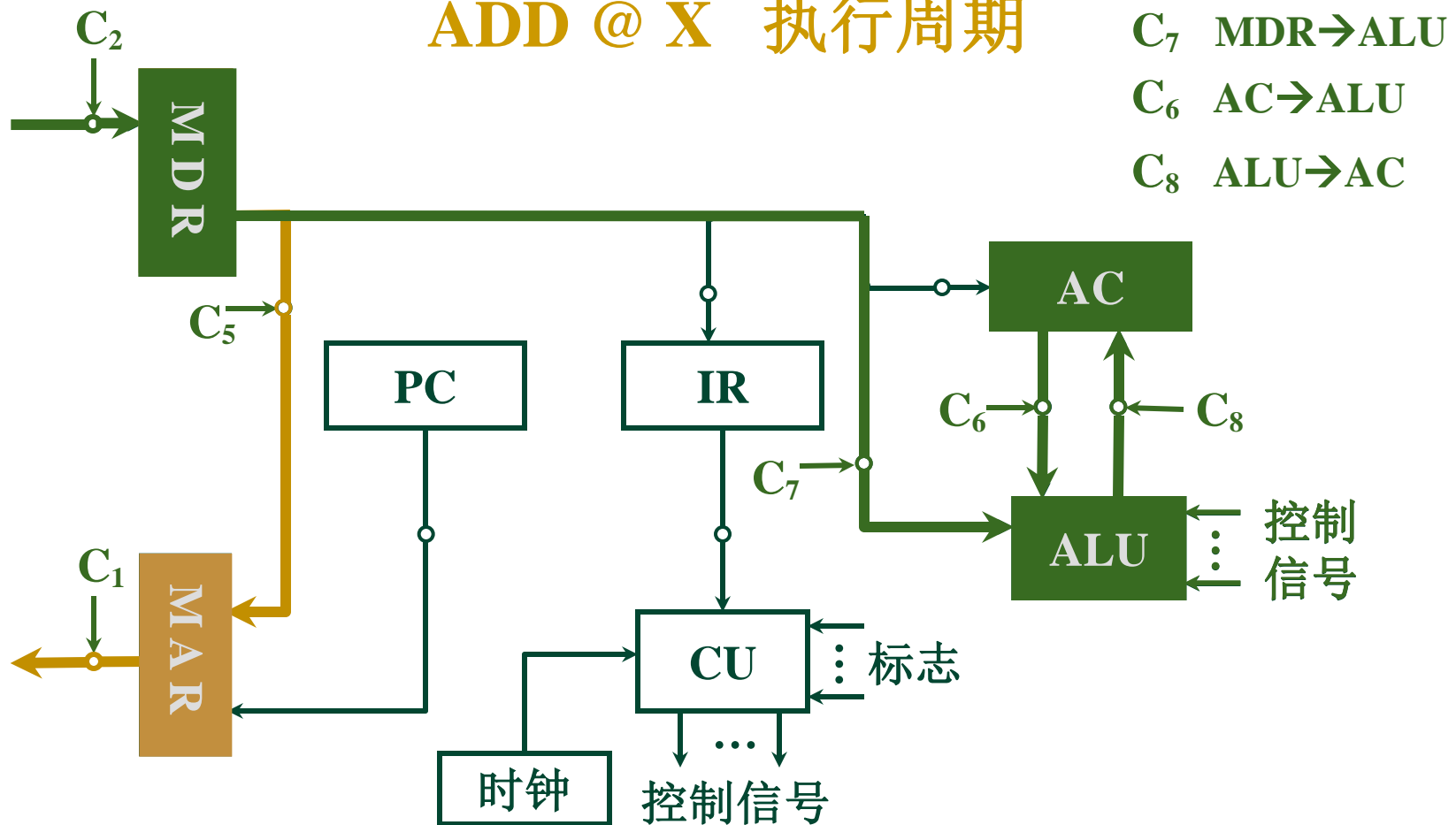
$C_3$  MDR  $\rightarrow$  Ad(IR)



## 二、控制信号举例

### 1. 不采用 CPU 内部总线的方式

**ADD @ X 执行周期**



$C_5$  MDR  $\rightarrow$  MAR

$C_1$  MAR  $\rightarrow$  M

$C_2$  M  $\rightarrow$  MDR

$C_7$  MDR  $\rightarrow$  ALU

$C_6$  AC  $\rightarrow$  ALU

$C_8$  ALU  $\rightarrow$  AC



## 2. 采用 CPU 内部总线方式

### (1) ADD @ X 取指周期

•  $PC \rightarrow MAR \rightarrow \text{地址线}$

$PC_0 \quad MAR_i$

• CU 发读命令  $1 \rightarrow R$

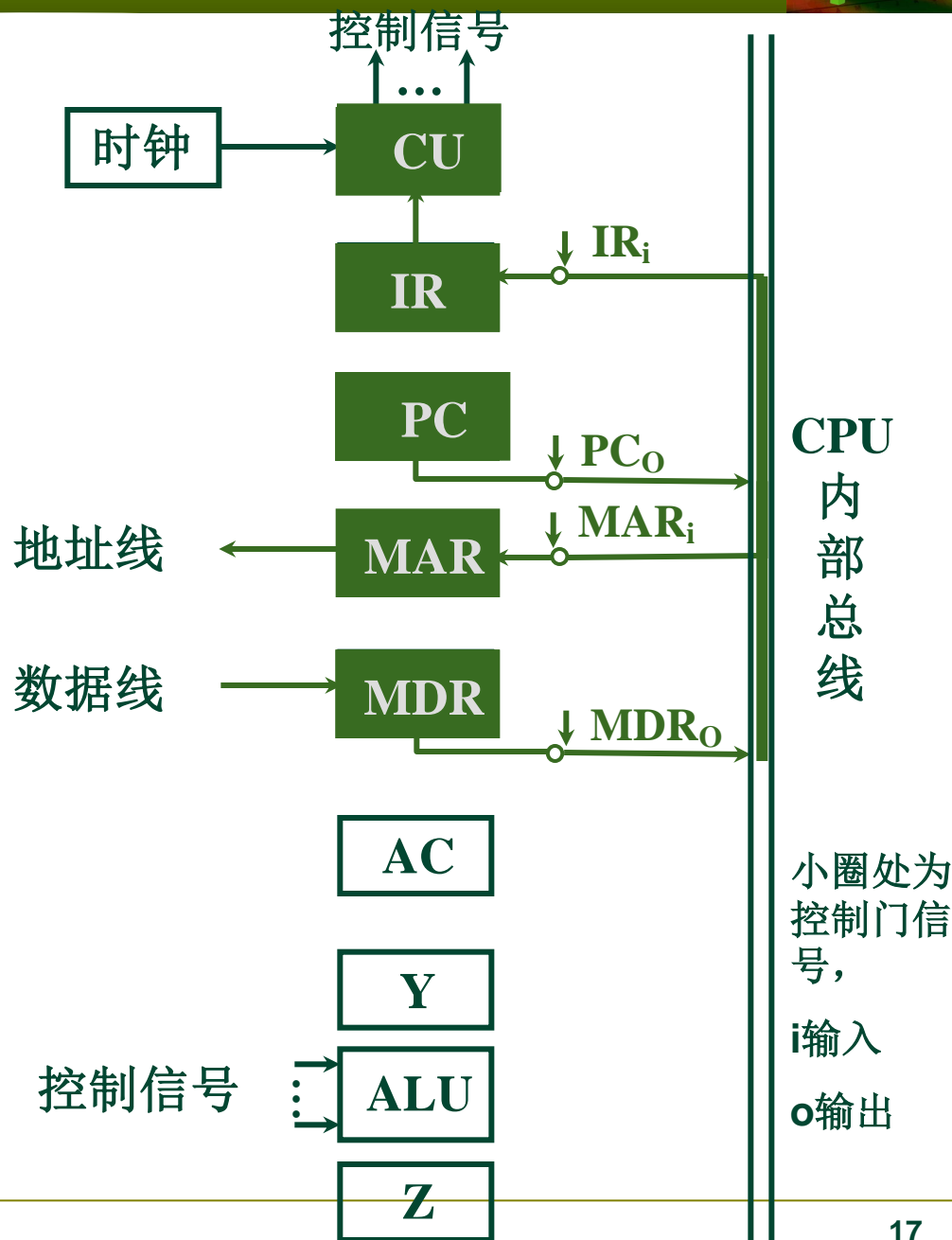
• 数据线  $\rightarrow MDR$

•  $MDR \rightarrow IR$

$MDR_0 \quad IR_i$

•  $OP(IR) \rightarrow CU$

•  $(PC) + 1 \rightarrow PC$



## (2) ADD @ X 间址周期

形式地址  $\rightarrow$  MAR

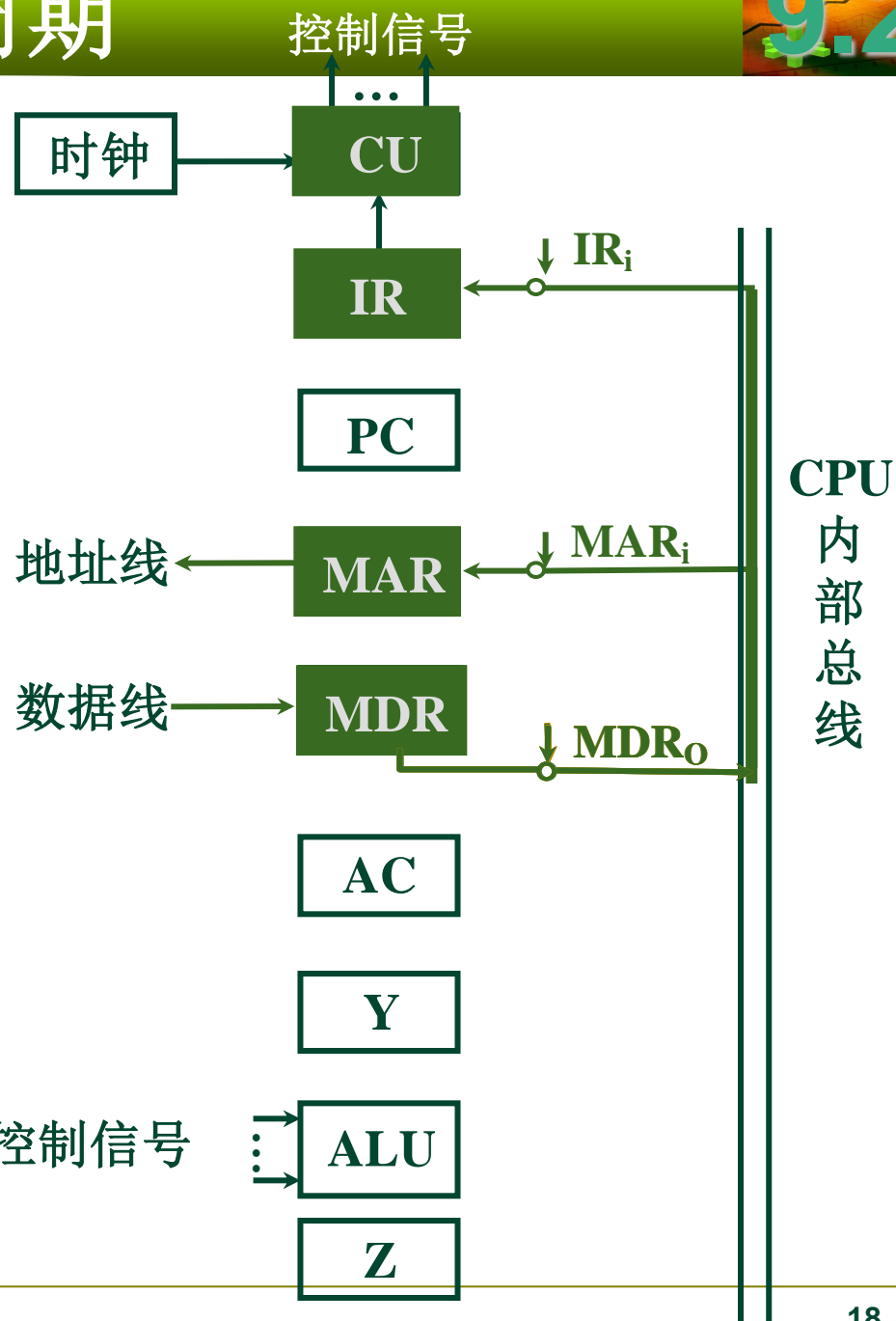
•  $\text{MDR} \rightarrow \text{MAR} \rightarrow \text{地址线}$   
 $\text{MDR}_0 \quad \text{MAR}_i$

•  $1 \rightarrow R$

• 数据线  $\rightarrow$  MDR

•  $\text{MDR} \rightarrow \text{IR}$   
 $\text{MDR}_0 \quad \text{IR}_i$

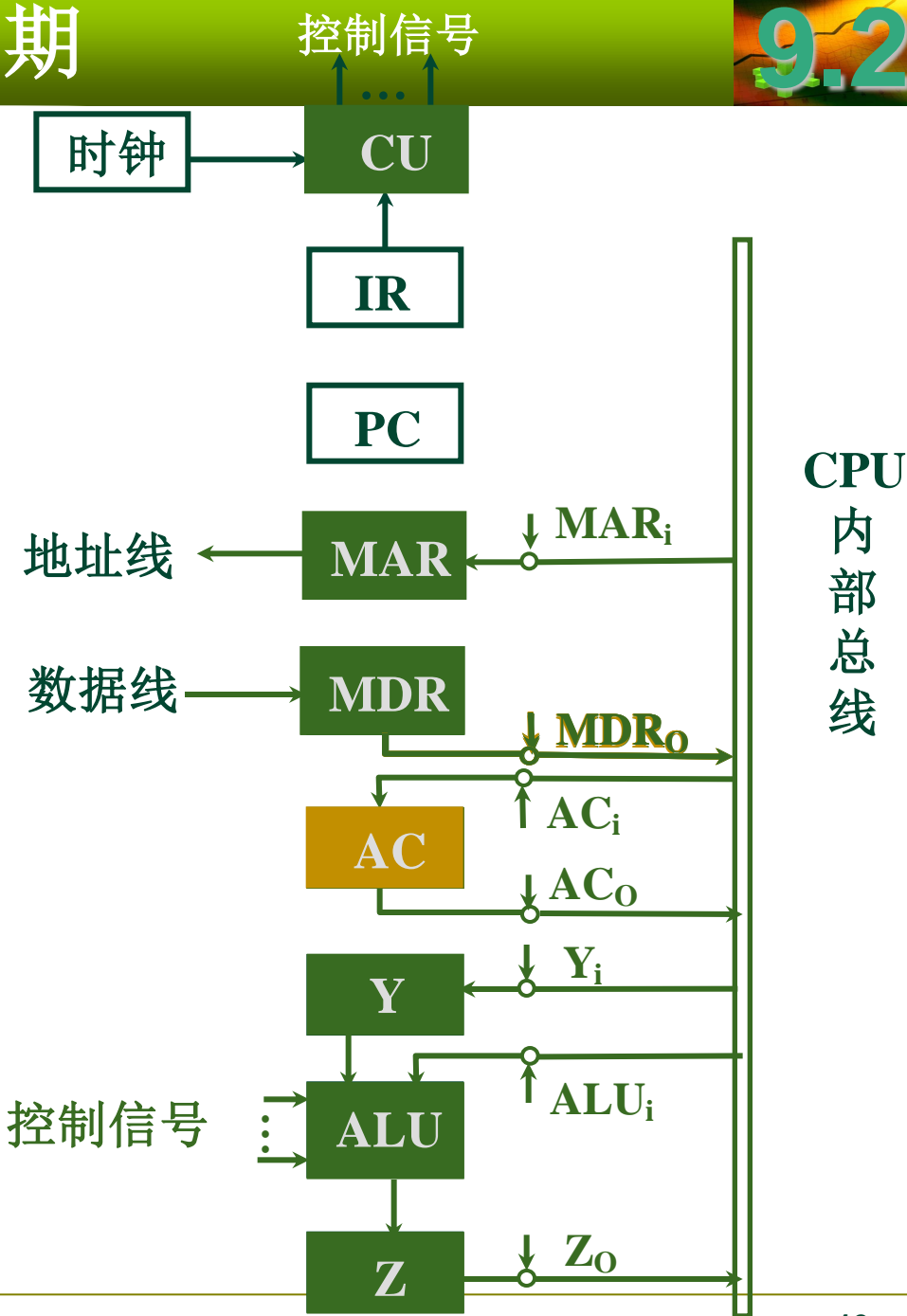
有效地址  $\rightarrow \text{Ad}(\text{IR})$



### (3) ADD @ X 执行周期

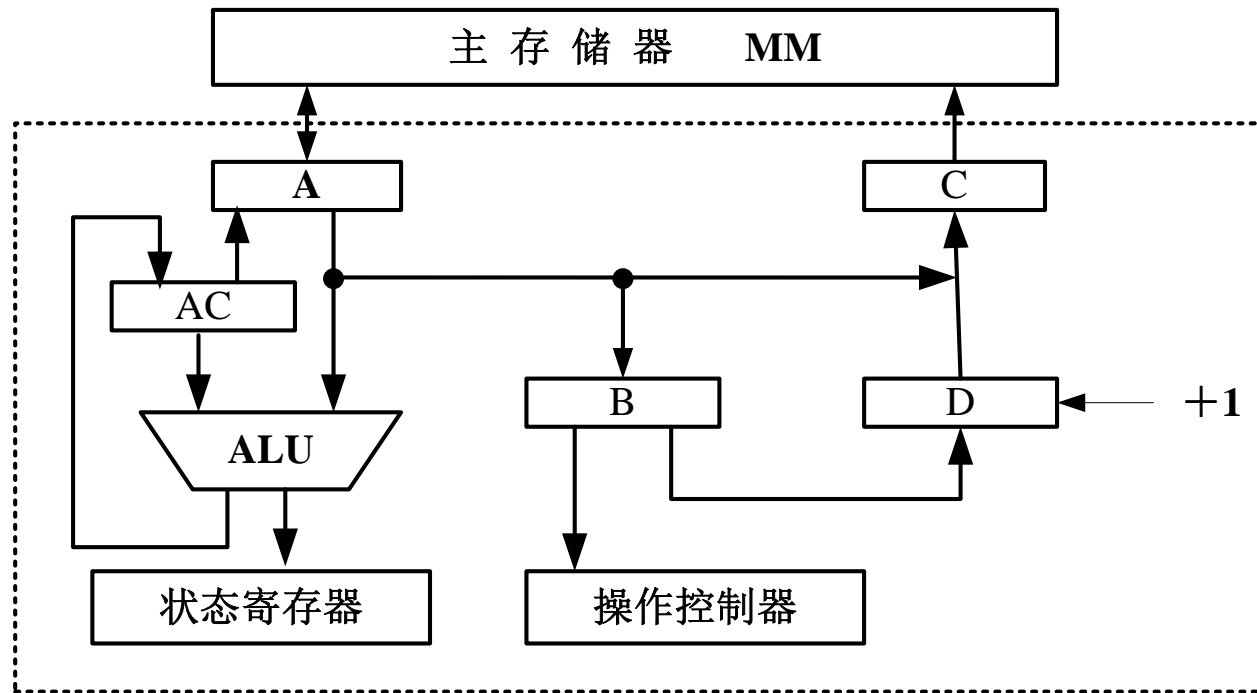
9.2

- $\text{MDR} \rightarrow \text{MAR} \rightarrow \text{地址线}$   
 $\text{MDR}_0 \quad \text{MAR}_i$
- $1 \rightarrow R$
- 数据线  $\rightarrow \text{MDR}$
- $\text{MDR} \rightarrow Y \rightarrow \text{ALU}$   
 $\text{MDR}_0 \quad Y_i$
- $\text{AC} \rightarrow \text{ALU}$   
 $\text{AC}_0 \quad \text{ALU}_i$
- $(\text{AC}) + (\text{Y}) \rightarrow Z$
- $Z \rightarrow \text{AC}$   
 $Z_0 \quad \text{AC}_i$



**例9.1** CPU结构如图所示，其中包括一个累加寄存器AC、一个状态寄存器和其他四个寄存器，各部分之间的连线表示数据通路，箭头表示信息传送方向

(1) 标明图中四个寄存器的名称



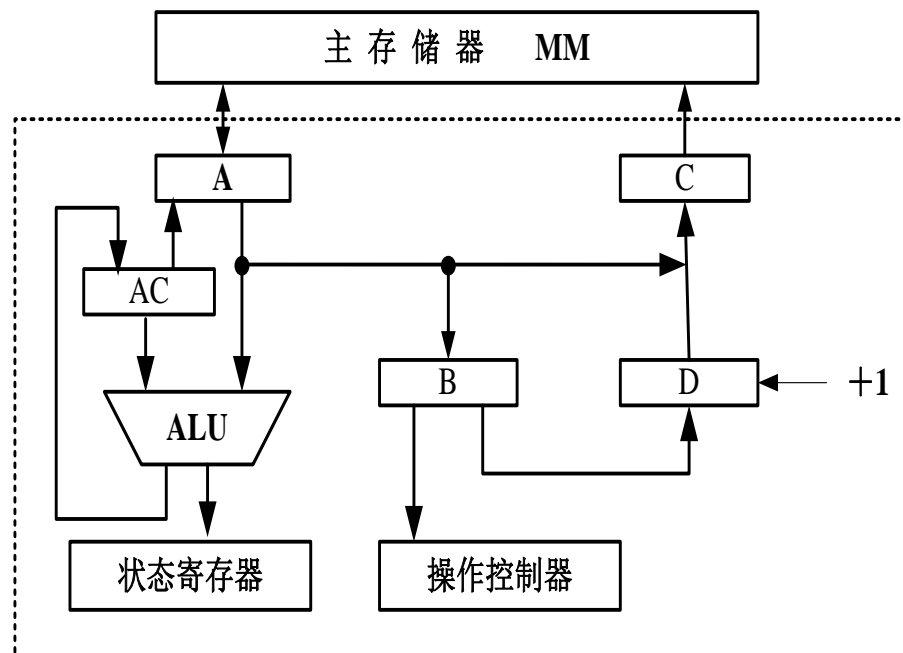
解：A为MDR，B为IR，C为MAR，D为PC

(2) 简述取指令的数据通路

(3) 简述完成指令LDA X的数据通路 (X为内存地址, LDA的功能为  $(X) \rightarrow (AC)$ )

(4) 简述完成指令ADD Y的数据通路 (Y为内存地址, ADD功能为  $(AC) + (Y) \rightarrow (AC)$ )

(5) 简述完成指令STA Z的数据通路 (Z为内存地址, STA功能为  $(AC) \rightarrow (Z)$ )



解: (2)取指:  $PC \rightarrow MAR \rightarrow MM \rightarrow MDR \rightarrow IR$

(3) LDA X:  $X \rightarrow MAR \rightarrow MM \rightarrow MDR \rightarrow ALU \rightarrow AC$

(4) ADD Y:  $Y \rightarrow MAR \rightarrow MM \rightarrow MDR \rightarrow ALU \rightarrow ADD \rightarrow AC$

(5) STA Z:  $Z \rightarrow MAR, AC \rightarrow MDR \rightarrow MM$

# 三、多级时序系统



## 1. 机器周期(CPU周期)

教材P385

### (1) 机器周期的概念

所有指令执行过程中的一个基准时间

### (2) 确定机器周期需考虑的因素

每条指令的执行 步骤

每一步骤 所需的 时间

### (3) 基准时间的确定

- 以完成 最复杂 指令功能的时间 为准
- 以 访问一次存储器 的时间 为基准

若指令字长 = 存储字长      取指周期 = 机器周期

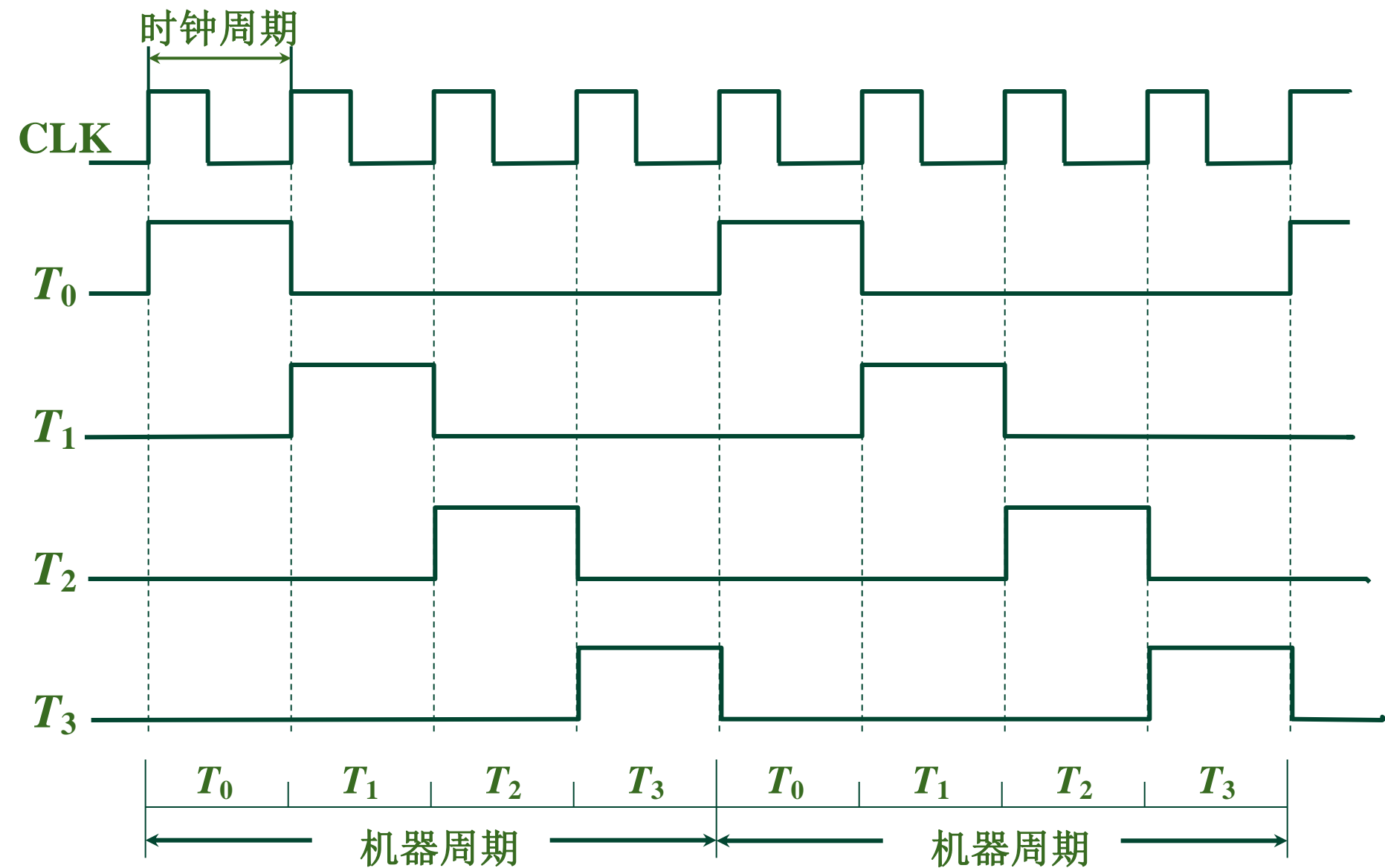
## 2. 时钟周期（节拍、状态）

- 一个机器周期内可完成若干个微操作
- 每个微操作需一定的时间

以时钟信号来控制产生每一个微操作命令

- 时钟信号控制节拍发生器，产生节拍，每个节拍宽度对应一个时钟周期
- 将一个机器周期分成若干个时间相等的时间段（节拍、状态、时钟周期）
- 时钟周期是控制计算机操作的最小单位时间
- 用时钟周期控制产生一个或几个微操作命令

# 时钟周期（节拍、状态）



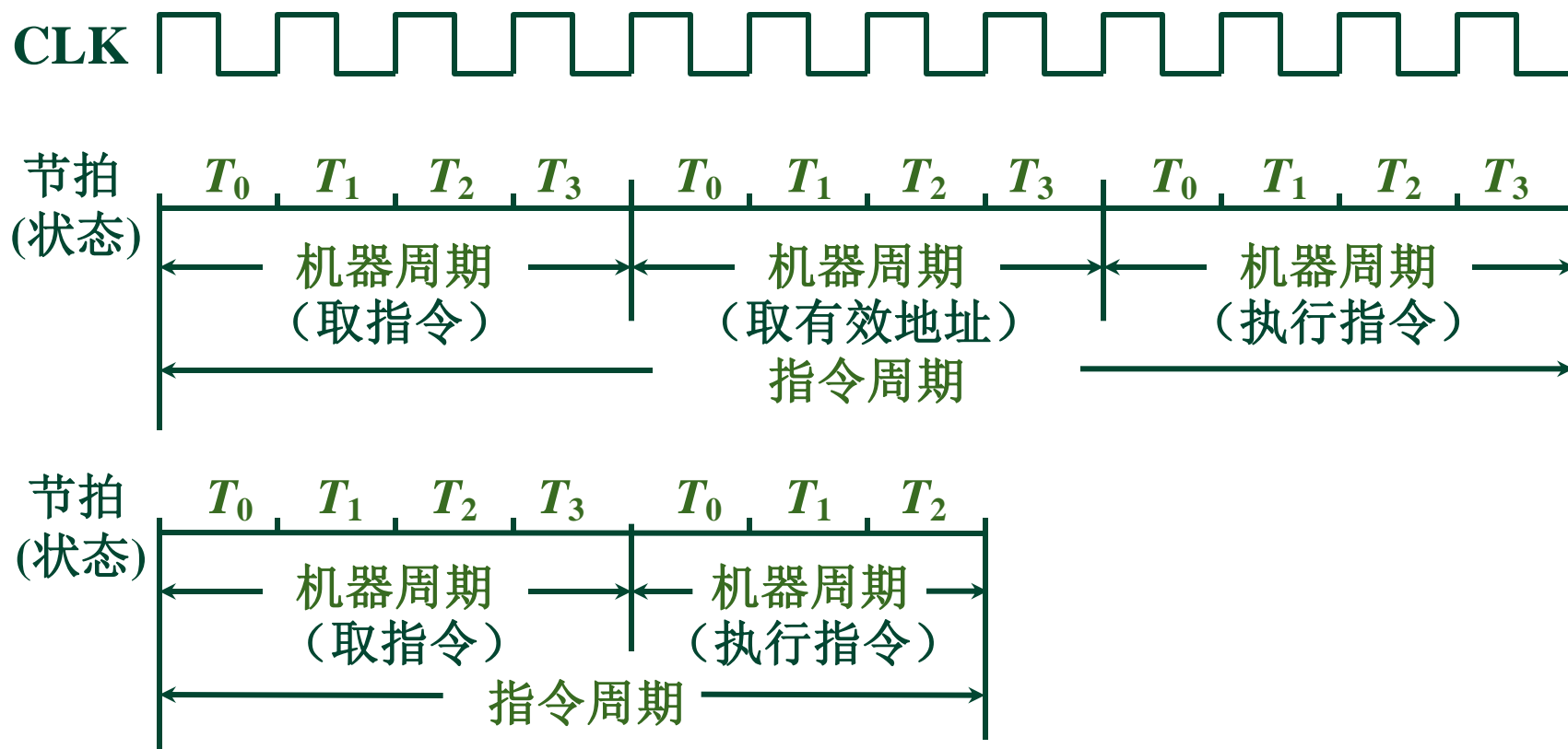


### 3. 多级时序系统

机器周期、节拍（状态）组成多级时序系统

一个指令周期包含若干个机器周期

一个机器周期包含若干个时钟周期



### 3. 多级时序系统

- **指令周期**是从取指令、分析指令到执行完该指令所需的时间。
- 不同的指令，其指令周期长短可以**不同**。
- 在时序系统中通常不为指令周期设置时间标志信号，因而也不将其作为时序的一级
- 三级时序系统是**小型机**常用的时序系统，在机器周期间、节拍电位间、工作脉冲间既不允许有重叠交叉，也不允许有空隙，应该是一个接一个的准确连接。
- **机器周期-节拍-脉冲** 三级时序系统。

## 4. 机器速度与机器主频的关系

机器的 主频  $f$  越快 机器的 速度也越快

在机器周期所含时钟周期数 相同 的前提下，  
两机 平均指令执行速度之比 等于 两机主频之比

$$\frac{\text{MIPS}_1}{\text{MIPS}_2} = \frac{f_1}{f_2}$$

机器速度 不仅与 主频有关，还与机器周期中所含  
时钟周期（主频的倒数）数 以及指令周期中所含  
的 机器周期数有关

# 几个周期概念

- ❖ **时钟周期**：一个时钟脉冲所需要的时间。在计算机组成原理中又叫T周期或节拍脉冲，是**CPU**和其他单片机的基本时间单位。
- ❖ **机器周期（CPU周期）**：完成一个基本操作所需要的时间，如取指周期，执行周期。（取指令、存储器读、存储器写等，这每一项工作称为一个基本操作。）
- ❖ **指令周期**：是执行一条指令所需要的时间，一般由若干个机器周期组成。通常含一个机器周期的指令称为单周期指令，包含两个机器周期的指令称为双周期指令。
- ❖ **总线周期**：**CPU**从内存中读取指令，向内存中存取数据，对外设端口读写数据，执行总线周期。总线周期通常包含4个T状态：**T1**，**T2**，**T3**，**T4**。所谓一个T状态就是一个时钟周期。
- ❖ **存取周期**：指的是计算机进行一次访存所需要的时间，包括读写时间以及物理的恢复等待时间。
- ❖ 而总线周期是指**CPU**通过总线和存储器或**I/O**接口进行一次数据传输所需要的时间。一般情况下，存取周期都会包含有一个或多个的总线周期。
- ❖ 指令周期、总线周期和时钟周期之间的关系：一个指令周期由若干个总线周期组成，而一个总线周期时间又包含有若干个时钟周期。
- ❖ 一个总线周期包含一个（只有取址周期）或多个机器周期。

例9.2 设某机平均执行一条指令需要两次访问内存，平均需要3个CPU周期，每个CPU周期平均包含4个节拍周期。若机器主频为240MHz，问：

(1) 若主存为“0等待”（即不需要插入等待周期，等待周期=节拍周期），问执行一条指令的平均时间为多少？

(2) 若每次访问内存需要插入2个等待周期，问执行一条指令的平均时间又是多少？

解：因为主频为240MHz，所以节拍周期=  $(1/240) \mu s$

因为每个CPU周期平均包含4个节拍周期，所以：

$$\text{CPU周期} = \text{节拍周期} \times 4 = 4/240\text{MHz} = (1/60)\mu s$$

若访存不需要插入等待周期，则执行一条指令平均需要3个CPU周期，所以：

$$\text{指令周期} = 3 \times \text{CPU周期} = 3 \times (1/60) \mu s = (1/20)\mu s = 0.05\mu s$$

$$\text{机器平均速度} = 1/0.05\mu s = 20 \text{ MIPS}$$

(2) 平均执行一条指令需要两次访问内存，每次访问内存需要插入2个等待周期，所以：

$$\begin{aligned} \text{指令周期} &= 0.05\mu s + 4 \times (1/240)\mu s = (1/20)\mu s + (1/60)\mu s \\ &= (4/60)\mu s \end{aligned}$$

$$\text{机器平均速度} = 60/4 \approx 15 \text{ MIPS}$$

$$\frac{\text{MIPS}_1}{\text{MIPS}_2} = \frac{f_1}{f_2}$$

**例9.3** 若某机主频为**400MHZ**，每个指令周期平均为**2.5CPU**周期，每个**CPU**周期平均包括**4**个主频周期，问：

**(1)该机平均指令执行速度为多少MIPS？**

**(2)若主频不变，但每条指令平均包括2个CPU周期，每个CPU周期又包含3个主频周期，平均指令执行速度又为多少MIPS？由此可得出什么结论？**

解：（1）主频为**400MHz**，所以主频周期= $1/400\text{MHz}=0.0025\mu\text{s}$

每个指令周期平均为**2.5CPU**周期，每个**CPU**周期平均包括**4**个主频周期，所以一条指令的执行时间= $2.5 \times 4 \times 0.0025\mu\text{s}=0.025\mu\text{s}$

该机平均指令执行速度= $1/0.025=40\text{MIPS}$ 。

**(2)** 每条指令平均包括**2个CPU**周期，每个**CPU**周期又包含**3个主频**周期，所以一条指令的执行时间= $2 \times 3 \times 0.0025\mu\text{s}=0.015\mu\text{s}$

该机平均指令执行速度= $1/0.015=66.67\text{MIPS}$

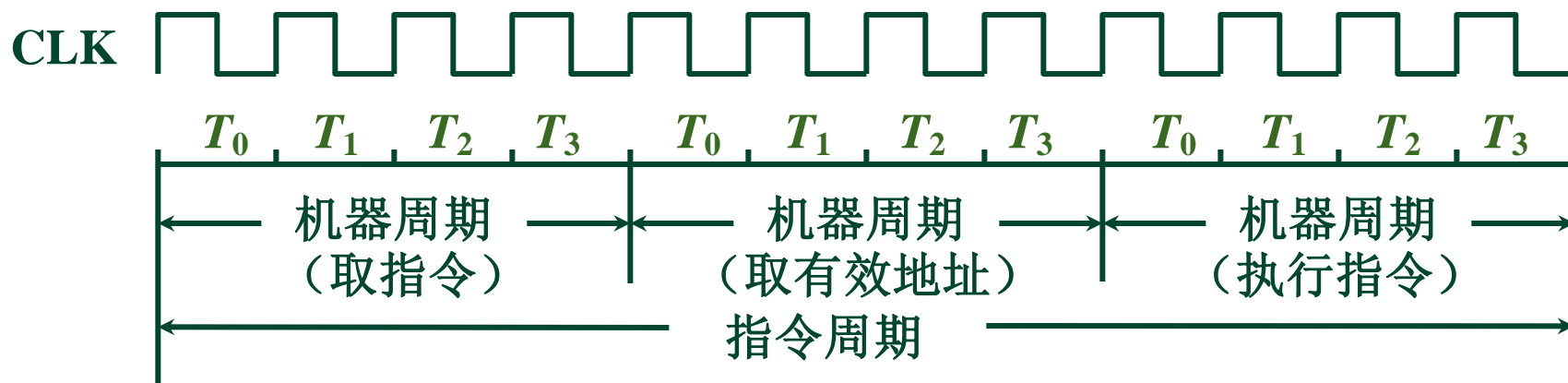
结论：指令的复杂程度会影响指令的平均执行速度。

## 四、CU的控制方式

产生不同微操作命令序列所用的时序控制方式

### 1. 同步控制方式

任一微操作均由 **统一基准时标** 的时序信号控制



#### (1) 采用 **定长** 的机器周期

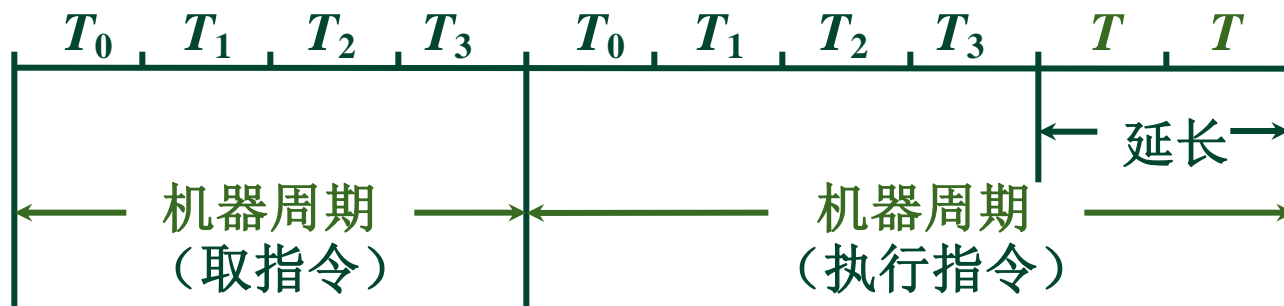
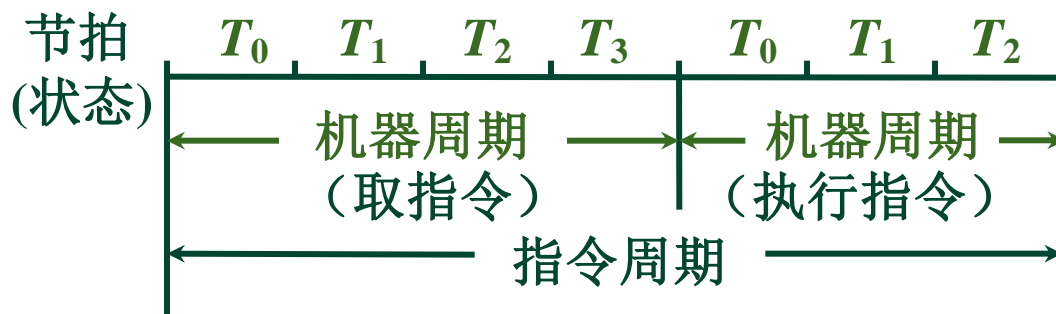
以 **最长** 的 **微操作序列** 和 **最繁** 的微操作作为 **标准**

机器周期内 **节拍数相同**

## (2) 采用不定长的机器周期

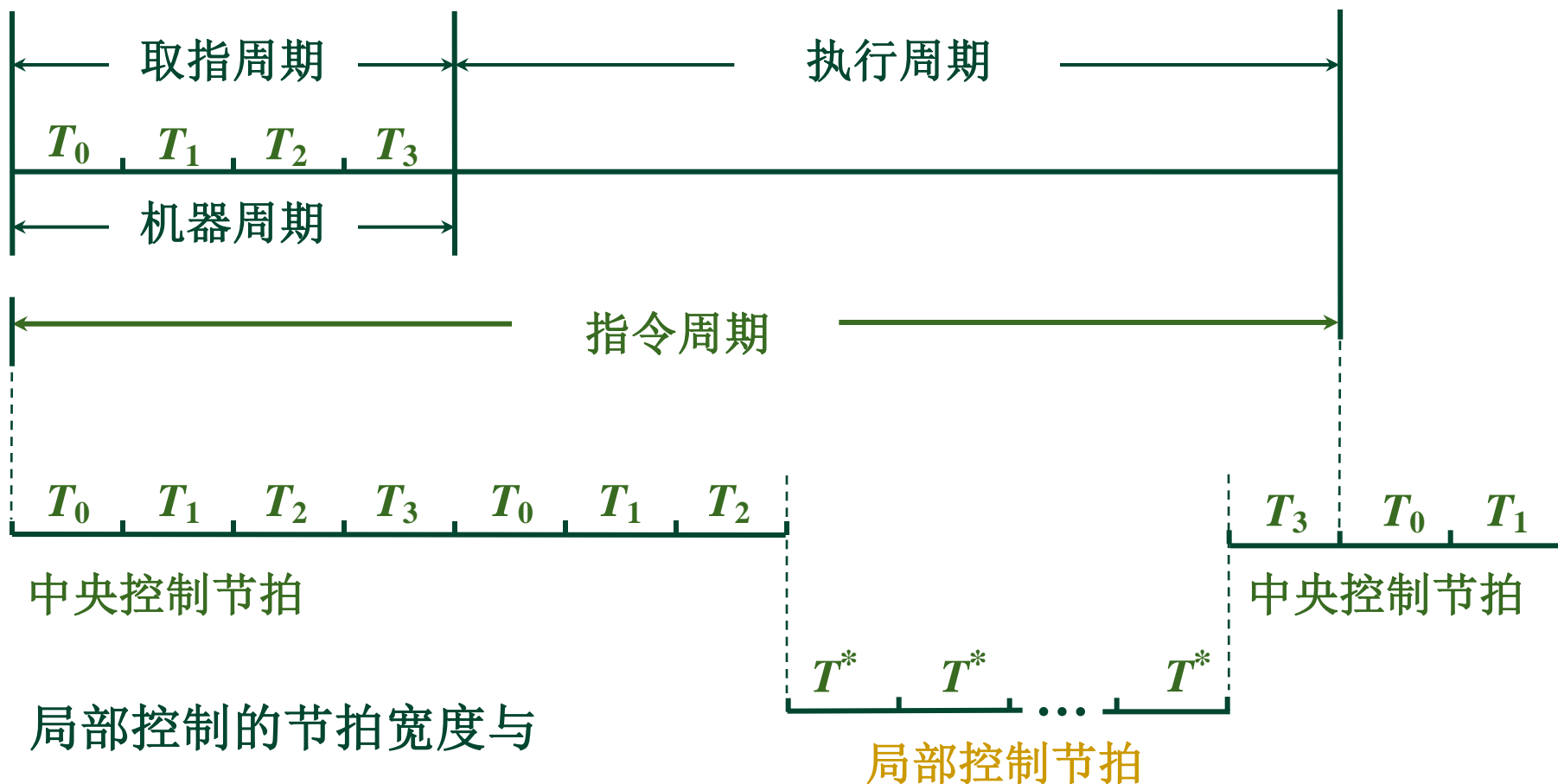
9.2

### 机器周期内 节拍数不等





### (3) 采用中央控制和局部控制相结合的方法



中央控制节拍

中央控制节拍

局部控制的节拍宽度与  
中央控制的节拍宽度一致

局部控制节拍

## 2. 异步控制方式

无基准时标信号

无固定的周期节拍和严格的时钟同步

采用 应答方式

## 3. 联合控制方式

同步与异步相结合

大部分统一、小部分区别对待

如：取指同步、I/O异步

## 4. 人工控制方式

(1) Reset

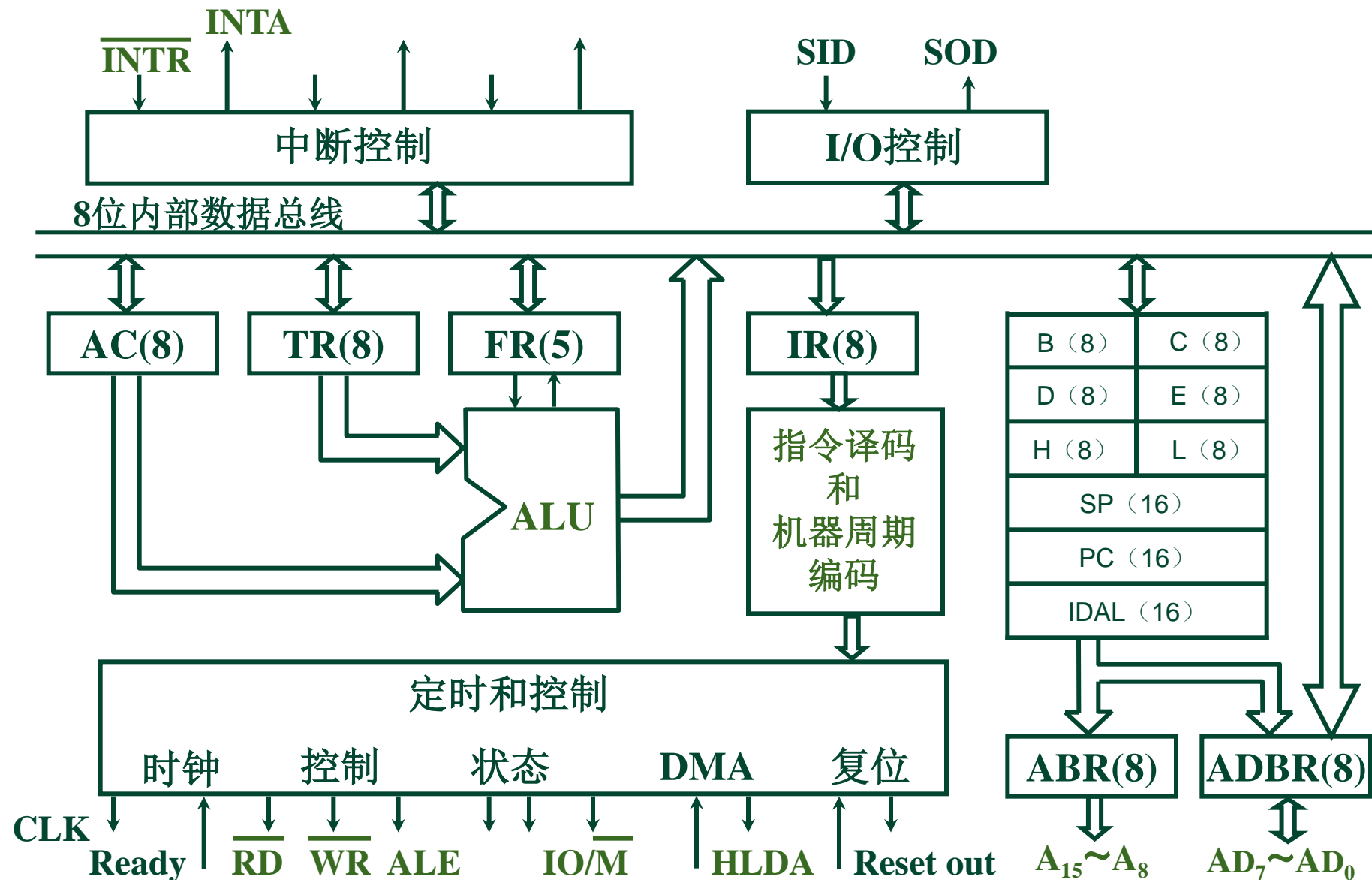
(2) 连续 和 单条 指令执行转换开关

(3) 符合停机开关

# 五、多级时序系统实例分析\*

9.2

## 1. 8085 的组成



## 2. 8085 的外部引脚

### (1) 地址和数据信号

$A_{15} \sim A_8$      $AD_7 \sim AD_0$

SID            SOD

### (2) 定时和控制信号

入    $X_1$     $X_2$

出   CLK   ALE    $S_0$     $S_1$   
       $IO/\overline{M}$     $\overline{RD}$     $\overline{WR}$

### (3) 存储器和 I/O 初始化

入   HOLD   Ready

出   HLDA

$X_1$	□	1	40	□	$V_{CC}$
$X_2$	□	2	39	□	HOLD
Reset out	□	3	38	□	HLDA
SOD	□	4	37	□	<u>CLK(out)</u>
SID	□	5	36	□	<u>Rstet in</u>
Trap	□	6	35	□	Ready
RST7.5	□	7	34	□	$IO/\overline{M}$
RST6.5	□	8	33	□	<u><math>S_1</math></u>
RST5.5	□	9	32	□	<u>RD</u>
<u>INTR</u>	□	10	31	□	<u>WR</u>
INTA	□	11	30	□	ALE
$AD_0$	□	12	29	□	$S_0$
$AD_1$	□	13	28	□	$A_{15}$
$AD_2$	□	14	27	□	$A_{14}$
$AD_3$	□	15	26	□	$A_{13}$
$AD_4$	□	16	25	□	$A_{12}$
$AD_5$	□	17	24	□	$A_{11}$
$AD_6$	□	18	23	□	$A_{10}$
$AD_7$	□	19	22	□	$A_9$
$V_{SS}$	□	20	21	□	$A_8$

## (4) 与中断有关的信号

9.2

入  $\overline{\text{INTR}}$

出  $\text{INTA}$

Trap 重新启动中断

## (5) CPU 初始化

入  $\overline{\text{Reset in}}$

出  $\text{Reset out}$

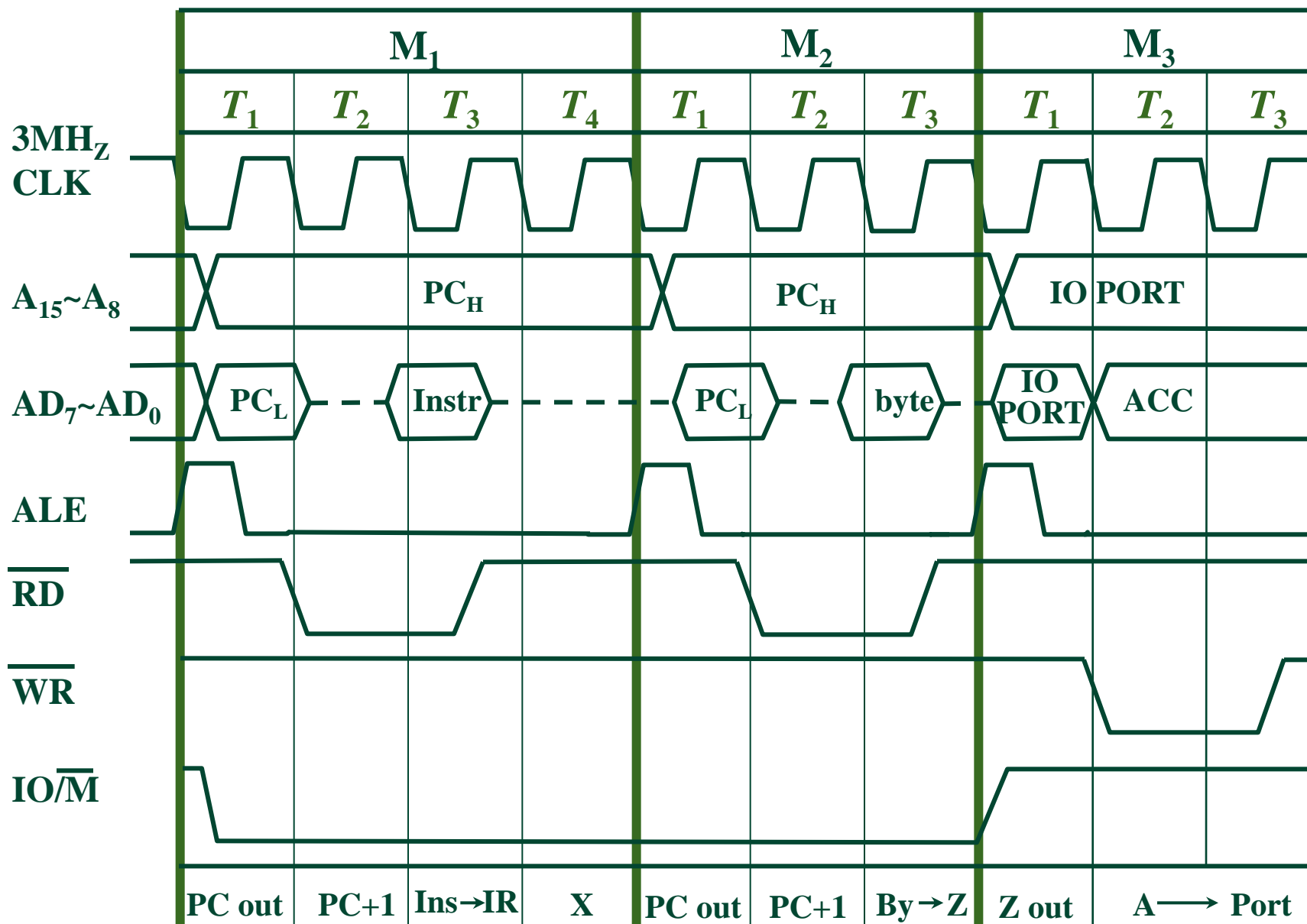
## (6) 电源和地

$V_{CC}$  +5 V

$V_{SS}$  地

$X_1$	1	40	$V_{CC}$
$X_2$	2	39	HOLD
Reset out	3	38	HLDA
SOD	4	37	$\overline{\text{CLK(out)}}$
SID	5	36	$\overline{\text{Rreset in}}$
Trap	6	35	Ready
RST7.5	7	34	IO/M
RST6.5	8	33	$\overline{S_1}$
RST5.5	9	32	$\overline{\text{RD}}$
$\overline{\text{INTR}}$	10	31	$\overline{\text{WR}}$
$\text{INTA}$	11	30	ALE
$\text{AD}_0$	12	29	$S_0$
$\text{AD}_1$	13	28	$A_{15}$
$\text{AD}_2$	14	27	$A_{14}$
$\text{AD}_3$	15	26	$A_{13}$
$\text{AD}_4$	16	25	$A_{12}$
$\text{AD}_5$	17	24	$A_{11}$
$\text{AD}_6$	18	23	$A_{10}$
$\text{AD}_7$	19	22	$A_9$
$V_{SS}$	20	21	$A_8$

# 3. 机器周期和节拍（状态）与控制信号的关系





# Thank You!

